Fiber Testing & Maintenance Technician Course

منهاج شامل وتطبيقي لدورة فحص و صيانة خطوط الالياف الضوئية. تم تصميم هذا المنهاج ليغطي الجوانب النظرية والعملية، ليتناسب مع احتياجات سوق العمل الحالي في قطاع الاتصالات.

صيانة وتركيب الألياف الضوئية

🛠️ الوحدة الأولى: أساسيات تكنولوجيا الألياف الضوئية (Fundamentals)

هدف الوحدة: بناء أساس نظري قوي وفهم كيفية انتقال البيانات عبر الضوء.

- **مقدمة في الاتصالات الضوئية:** مقارنة بين الكابلات النحاسية والألياف الضوئية (المميزات والعيوب).
- **فيزياء الضوء (Optics Physics):** مبدأ الانعكاس الداخلي الكلي (Total Internal Reflection$)، والانكسار.
- **بنية كابل الألياف الضوئية:** المكونات الأساسية (اللب Core، الغلاف Cladding، الطلاء الواقي Buffer Coating).
- **أنواع الألياف الضوئية:**
  - ألياف أحادية النمط (**Single-Mode - SM**): الاستخدامات والمسافات الطويلة.
  - ألياف متعددة النمط (**Multi-Mode - MM**): الاستخدامات والمسافات القصيرة (مراكز البيانات).

🏗️ الوحدة الثانية: أنواع الكابلات وهندسة الشبكات (FTTx Architecture)

هدف الوحدة: التعرف على أنواع الكابلات في الميدان ومعمارية الشبكات الحديثة.

- **تصنيفات الكابلات حسب البيئة:**
  - الكابلات الهوائية (**Aerial Cables**).
  - الكابلات المدفونة تحت الأرض (**Armored & Underground Cables**).
  - الكابلات الداخلية للمباني (**Indoor/Drop Cables**).
- **بنية شبكات FTTH (Fiber to the Home):**
  - فهم شبكات ومكونات الـ **PON** (Passive Optical Network).
  - أجهزة الإرسال والاستقبال (**OLT** في المقسم، و **ONU/ONT** عند المشترك).
  - المقسمات الضوئية (**Optical Splitters**): أنواعها (1:4, 1:8, 1:32) وكيفية حساب الفقد فيها.

🔧 الوحدة الثالثة: أدوات التجهيز واللحام والربط (Splicing & Termination)

هدف الوحدة: اكتساب المهارة اليدوية الاحترافية في التعامل مع الزجاج الدقيق.

- **أدوات تجهيز الكابل:** استخدام قاشطات الكابلات (Strippers) وأدوات قطع الغلاف الخارجي بحذر.
- **أداة القطع الاحترافية (Cleaver):** أهمية زاوية القطع الصحيحة

(Cleave Angle) في نجاح اللحام.

- **لحام الألياف الضوئية (Fusion Splicing):**
  - شرح وتشغيل ماكينة اللحام بالقوس الكهربائي (**Fusion Splicer**).
  - تنظيف الألياف باستخدام الكحول الطبي النقي (Isopropyl Alcohol 99%).
  - خطوات اللحام العملي وحماية نقطة اللحام بواسطة الأنبوب الحراري (Sleeve).
- **الربط الميكانيكي والموصلات (Connectors):** التعرف على أنواع الموصلات الشهيرة (SC, LC, FC, ST) وتلميعها وتوصيلها ميكانيكياً.

📐 الوحدة الرابعة: الفحص، القياس، واكتشاف الأعطال (Testing & Troubleshooting)

هدف الوحدة: استخدام أجهزة القياس لتحديد كفاءة الشبكة وتحديد أماكن القطع بدقة.

- **قلم الفحص الضوئي (Visual Fault Locator - VFL):** للكشف البصري السريع عن القطوع القريبة والانحناءات الحادة.
- **مقياس القدرة الضوئية (Optical Power Meter - OPM):** قياس مستوى الإشارة (dBm) وحساب ميزانية الفقد (Link Loss Budget).
- **جهاز الـ OTDR (Optical Time Domain Reflectometer):**
  - فهم آلية عمل الجهاز (إرسال نبضات الضوء وتحليل الانعكاسات).
  - قراءة المنحنيات البيانية (Traces) وتحديد أماكن اللحامات، والمقسمات، والقطع بالامتار.

- ضبط الإعدادات (معامل الانكسار IOR، عرض النبضة Pulse Width).
- **مجهر فحص الموصلات (Fiber Inspection Scope):** التأكد من نظافة رؤوس الموصلات وخلوها من الأتربة والخدوش.

⚠️ الوحدة الخامسة: السلامة المهنية وصيانة الشبكات (Safety & Maintenance)

هدف الوحدة: حماية الفني والشبكة واستمرارية الخدمة.

- **قواعد السلامة المهنية:**
  - مخاطر أشعة الليزر غير المرئية (حماية العين).
  - التعامل الآمن مع بقايا الزجاج الناتجة عن القص (شظايا الألياف).
  - مخاطر المواد الكيميائية (مذيبات التنظيف).
- **إجراءات الصيانة الوقائية والتصحيحية:**
  - إصلاح القطوع الطارئة في الميدان (Emergency Restoration).
  - تنظيف الكبائن وصناديق التوزيع (ODF Closure).

💼 المخرجات المتوقعة من الدورة (المهارات المكتسبة)

بنهاية هذه الدورة، سيكون المتدرب قادراً على:

١. قراءة المخططات الهندسية لشبكات الألياف الضوئية وتحديد المسارات.
٢. تجهيز ولحام كابلات الألياف الضوئية بكفاءة ونسبة فقد تقارب الصفر.
٣. استخدام جهاز الـ **OTDR** والـ **Power Meter** لتشخيص أي عطل في الشبكة وإصلاحه.

٤ تركيب وتوصيل بوكسات المشتركين (FAT Rose) وتفعيل الخدمة للمنازل.

Fiber Testing & Maintenance Technician

الوحدة الأولى

أساسيات تكنولوجيا الألياف الضوئية (Fundamentals of Fiber Optics)

مقدمة

شهد قطاع الاتصالات ثورة هائلة عندما تم الانتقال من الاعتماد على التيار الكهربائي عبر الأسلاك النحاسية إلى الاعتماد على نبضات الضوء عبر خيوط زجاجية دقيقة تُعرف بـ **الألياف الضوئية (Fiber Optics)**. هذا التحول لم يكن مجرد استبدال وسيط بآخر، بل كان قفزة نوعية في سرعة نقل البيانات، والمسافات التي تقطعها، وأمن المعلومات.

1. مقارنة هندسية: الألياف الضوئية مقابل الكابلات النحاسية

لفهم أهمية الألياف الضوئية، يجب مقارنتها بالوسيط التقليدي (النحاس):

الكابلات النحاسية (Copper Cables)	الألياف الضوئية (Fiber Optics)	وجه المقارنة
إشارات كهربائية (Electrons) داخل سلك نحاسي.	نبضات ضوئية (Photonics) داخل زجاج أو بلاستيك.	**وسيط النقل**
محدود (يصل إلى بضع جيغابيتات لمسافات قصيرة).	هائل جداً (يصل إلى مئات الجيغابيت والتيرابيت في الثانية).	**عرض النطاق (Bandwidth)**
وهن عالٍ؛ تتطلب مقويات إشارة كل بضعة كيلومترات (أو مئات الأمتار).	وهن منخفض جداً؛ يمكن قَطع مسافات تصل لـ 40 كم دون حاجة لمقويات ($Repeaters$).	**المسافة والوهن (Attenuation)**
حساسة جداً للتداخل الكهرومغناطيسي والتشويش من المصانع أو خطوط الكهرباء.	مناعة كاملة ضد التداخل لأن الضوء لا يتأثر بالمجالات الكهربائية.	**التداخل الكهرومغناطيسي (EMI)**
يمكن التنصت عليها وسرقة البيانات عبر التقاط المجال المغناطيسي المنبعث منها.	آمنة جداً؛ يصعب اختراقها أو التنصت عليها دون كسر الزجاج وكشف العطل فوراً.	**الأمان والحماية**
ثقيلة الوزن وتأخذ مساحات كبيرة في القنوات الأرضية.	خفيفة الوزن ونحيفة جداً.	**الوزن والحجم**

2. فيزياء الضوء وآلية العمل (Optics Physics)

تعتمد الألياف الضوئية في عملها على ظاهرة فيزيائية في علم البصريات تُسمى **الانعكاس الداخلي الكلي (Total Internal Reflection)**. لكي نفهم كيف يرتد الضوء ويظل حبيساً داخل الخيط الزجاجي، يجب فهم ثلاثة مفاهيم متتالية:

أ. معامل الانكسار (Refractive - n)

هو النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ (c) وسرعة الضوء في الوسط المراد قياسه (v). ويُحسب بالمعادلة:

$$n = c/v$$

حيث أن:

- **n**: معامل انكسار الوسط (وهو دائماً أكبر من أو يساوي 1، لأن سرعة
- الضوء في الفراغ هي الحد الأقصى).
- **c**: سرعة الضوء في الفراغ (3×10^8 وتساوي تقريبا m/s).
- **v**: سرعة الضوء في الوسط المراد قياس معامل انكساره.

كلما زادت كثافة المادة، قلّت سرعة الضوء فيها، وبالتالي **ارتفع** معامل انكسارها.

(على سبيل المثال: معامل انكسار الهواء 1.0، بينما معامل انكسار زجاج الألياف 1.46).

ب. قانون سنيل والانكسار (Snell's Law)

عندما ينتقل الضوء من وسط ذي معامل انكسار أعلى (كثافة أعلى) إلى وسط ذي معامل انكسار أقل (كثافة أقل)، فإنه ينكسر مبتعداً عن الخط العمودي.

ج. الزاوية الحرجة والانعكاس الداخلي الكلي

إذا استمرينا في زيادة زاوية سقوط الضوء، سنصل إلى زاوية معينة ينكسر عندها الضوء موازياً للسطح الفاصل (زاوية الانكسار =90°. تُسمى زاوية السقوط هذه بـ **الزاوية الحرجة (Critical Angle)**.

- **إذا سقط الضوء بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة:** فلن ينفذ أو ينكسر أي جزء منه إلى الخارج، بل **يرتد كاملاً** إلى داخل الوسط الأول. هذا هو **الانعكاس الداخلي الكلي** الذي يسمح للضوء بالسير داخل الزجاج حتى لو كان الكابل منحنياً.

3. بنية وتشريح كابل الألياف الضوئية (Anatomy of a Fiber)

يتكون ليف الضوء الواحد من طبقات أسطوانية متداخلة بدقة متناهية:

[اللب Core] ---> [الغلاف Cladding] ---> [الطلاء الواقي Coating]

1. **اللّب (Core):**
   - هو الجزء المركزي الزجاجي الفائق النقاء الذي يسير فيه الضوء فعلياً.
   - يتميز بأن **معامل انكساره مرتفع (n_1)**.
- يتراوح قطره بين 9 µ m (ميكرومتر) في الألياف أحادية النمط، و 50 إلى 62.5 µ m في الألياف متعددة النمط.

1. **الغلاف (Cladding):**
   - طبقة زجاجية تحيط باللب مباشرة وتلتصق به.

- وظيفتها الأساسية هي حبس الضوء داخل اللب، ولذلك يجب أن يكون **معامل انكسارها أقل من معامل انكسار اللب ($n_2 < n_1$)** لتحقيق الانعكاس الداخلي الكلي.
- القطر القياسي العالمي للغلاف ثابت غالباً وهو 125 µ m

٦. **الطلاء الواقي (Buffer Coating):**

- طبقة بلاستيكية مرنة (تكون عادة من البوليمر أو الأكريليك) تحيط بالغلاف.
- وظيفتها ميكانيكية بحتة: حماية الزجاج الداخلي من الرطوبة، الخدوش، والصدمات أثناء السحب والتركيب. قطره الشائع 250 µ m

4. أنواع الألياف الضوئية (SM vs MM)

تنقسم الألياف الضوئية من حيث طريقة انتقال الضوء في داخلها إلى نوعين رئيسيين:

أولاً: ألياف أحادية النمط (Single-Mode Fiber - SMF)

- **البنية:** تمتلك لباً صغيراً جداً (حوالي 9 µ m).
- **آلية العمل:** نظراً لصغر قطر اللب، فإن الضوء يمر عبره في مسار مستقيم واحد مباشر (نمط واحد Mode) دون ارتدادات كثيرة.
- **مصدر الضوء:** يعتمد على أشعة **الليزر (Laser)** المركزة.
- **المميزات:** عدم وجود تشتت للموجات الضوئية، مما يتيح نقل البيانات لمسافات شاسعة جداً (تصل إلى عشرات الكيلومترات) وبسرعات فائقة دون فقد يُذكر.
- **الاستخدامات:** شبكات الاتصالات الدولية، الربط بين المدن، وشبكات الـ FTTH الخارجية.

ثانياً: ألياف متعددة النمط (Multi-Mode Fiber - MMF)

- **البنية:** تمتلك لباً كبيراً (حوالي 50 أو 62.5 µ m
- **آلية العمل:** الحجم الكبير يسمح للضوء بالدخول بزوايا مختلفة، مما يجعله ينتقل في مسارات أو أنماط متعددة ترتد داخل اللب.
- **مصدر الضوء:** يعتمد غالباً على الصمامات الثنائية الباعثة للضوء **(LED)** أو ليزر الـ VCSEL الاقتصادي.
- **العيوب:** يعاني من ظاهرة تُعرف بـ **التشتت الموادلي (Modal Dispersion)**، حيث تصل نبضات الضوء التي تسير في المسارات الطويلة متأخرة عن النبضات المستقيمة، مما يسبب تشوه الإشارة لمسافات طويلة.
- **الاستخدامات:** لمسافات قصيرة (أقل من 2 كم عادةً) مثل مراكز البيانات (Data Centers)، والشبكات المحلية للمباني والجامعات (LAN).

خلاصة واستنتاج

تعتبر الوحدة الأولى هي الحجر الأساس لفني أو مهندس الاتصالات؛ فحجم اللب ومعامل الانكسار ومفهوم الانعكاس الداخلي الكلي ليست مجرد فيزياء نظرية، بل هي التي تحدد لاحقاً كيف نختار نوع الكابل في الميدان، ولماذا نستخدم الليزر في الشبكات الخارجية، وتفسر أسباب الفقد (Loss) عند حدوث انحناءات حادة في الكابل أثناء التركيب العملي.

Fiber Testing & Maintenance Technician

الوحدة الثانية

أنواع الكابلات وهندسة شبكات FTTx

مقدمة

لا يكفي فهم كيفية سير الضوء داخل ليف زجاجي مفرد لتصميم شبكة اتصالات حقيقية؛ بل يتطلب الأمر وضع هذه الألياف داخل كابلات متينة ومحمية هندسياً لتتحمل العوامل الجوية الميدانية. علاوة على ذلك، يجب بناء هيكلية شبكية ذكية تضمن توزيع الإشارة الضوئية من المقسم الرئيسي إلى آلاف المشتركين بكفاءة واقتصادية، وهو ما يُعرف بهندسة شبكات الـ **FTTx**.

1. تصنيفات كابلات الألياف الضوئية حسب البيئة الميدانية

تختلف بنية الكابل الخارجي والمواد المصنوع منها تماماً باختلاف مكان تركيبه، وتنقسم إلى ثلاثة أنواع رئيسية:

أ. الكابلات الهوائية (Aerial Cables)

- **البيئة:** تُعلق في الهواء على أعمدة الاتصالات أو الكهرباء.
- **الخصائص الهندسية:** يجب أن تتحمل الشد العالي، الرياح، والحرارة العالية.

الأنواع الشهيرة:

ADSS (All-Dielectric Self-Supporting)
كابل خالٍ تماماً من المعادن لحمايته من الصواعق والتداخل مع خطوط الضغط العالي.

Figure-8

كابل مدمج معه سلك فولاذي خارجي للتعليق والدعم الميكانيكي.

ب. الكابلات المدفونة تحت الأرض (Armored & Underground Cables)

- **البيئة:** يتم سحبها داخل قنوات أرضية (Ducts) أو دفنها مباشرة في التربة (Direct Buried).
- **الخصائص الهندسية:** تحتوي على طبقة تدريع معدنية (**Armored**) مصنوعة من الفولاذ أو الألومنيوم لحمايتها من القوارض (مثل الفئران) والضغوط الناتجة عن حركة المرور والمعدات الثقيلة فوق الأرض، بالإضافة إلى مواد مقاومة للرطوبة والمياه.

ج. الكابلات الداخلية للمباني وكابلات التوصيل (Indoor & Drop Cables)

- **البيئة:** تُستخدم داخل منازل المشتركين والمكاتب.
- **الخصائص الهندسية:** تتميز بالمرونة العالية جداً ومقاومة الانحناء (**Bend-Insensitive**). غلافها الخارجي يُصنع من مواد **LSZH** (Low Smoke Zero Halogen) وهي مواد لا تنبعث منها غازات سامة أو دخان كثيف في حال حدوث حرائق داخل المبنى.

2. معمارية شبكات الـ FTTx

مصطلح **FTTx** هو اختصار لـ **Fiber to the x** (الألياف الضوئية إلى نقطة معينة)، وحرف الـ (x) يتغير حسب المكان الذي تنتهي عنده الألياف الضوئية النظيفة:

- **FTTH (Fiber to the Home):** تصل الألياف الضوئية مباشرة إلى داخل منزل المشترك (أعلى سرعة وكفاءة).
- **FTTB (Fiber to the Building):** تصل الألياف إلى بوكس رئيسي أسفل البناية أو البرج السكني، ثم يتم التوزيع داخلياً عبر كابلات نحاسية أو إيثرنت.
- **FTTC (Fiber to the Curb Cabinet):** تصل الألياف إلى كابينة الشارع الرئيسية، ومن الكابينة إلى المنازل يتم الاعتماد على الشبكة النحاسية التقليدية (مثل تقنيات VDSL).

3. بنية شبكات الألياف الضوئية الخاملة (Passive Optical Network - PON)

تعتمد معظم شبكات FTTH الحديثة على معمارية الـ **PON**. وكلمة "خاملة" أو "سلبية" تعني أن الشبكة الممتدة في الشوارع بين المقسم والمشترك **لا تحتوي على أي أجهزة إلكترونية تحتاج إلى كهرباء**، بل تعتمد على عناصر زجاجية تعكس وتوزع الضوء فقط.

تتكون شبكة الـ PON من ثلاثة أجزاء رئيسية:

1. جهاز الـ OLT (Optical Line Terminal)

- **الموقع:** يتواجد داخل المقسم الرئيسي للشركة (Central Office).
- **الوظيفة:** هو العقل المدبر للشبكة، يقوم بتحويل البيانات القادمة من الإنترنت العالمي إلى نبضات ضوئية وإرسالها عبر الشبكة، واستقبال البيانات القادمة من المشتركين.

2. المقسمات الضوئية (Optical Splitters)

- **الوظيفة:** هي قطع زجاجية منشورية دقيقة تقوم بتقسيم شعاع الضوء القادم من ليف ضوئي واحد يتصل بالـ OLT، وتوزيعه إلى عدة مسارات لتغذية منازل متعددة.
- **نسب التقسيم الشائعة:** (1:4, 1:8, 1:16, 1:32, 1:64).
- **حساب الفقد (Loss Budget):** عملية التقسيم الفيزيائي للضوء تؤدي حتماً إلى هبوط في طاقة الإشارة. على سبيل المثال، المقسم بنسبة **1:2** يفقد حوالي 3 dB من قوة الإشارة، والمقسم بنسبة **1:8** يفقد حوالي 10 dB، والمقسم بنسبة **1:32** يفقد حوالي 15 إلى 17 dB. يجب على مهندس الشبكة حساب هذه القيم بدقة لضمان وصول ضوء كافٍ للمشترك.

3. جهاز الـ ONU ONT (Optical Network Unit Terminal)

- **الموقع:** يتواجد عند المشترك (داخل المنزل أو المكتب).
- **الوظيفة:** هو الجهاز الطرفي (الراوتر الضوئي) الذي يستقبل الإشارة الضوئية القادمة من الشارع، ويحولها مرة أخرى إلى إشارات كهربائية (Data & Wi-Fi) لتشغيل الهواتف و شبكات الحواسيب.

خلاصة واستنتاج الوحدة الثانية

تعتبر هندسة شبكات FTTx وتصميم الـ PON الطريقة الاقتصادية الأمثل التي جعلت تمديد الألياف الضوئية للمنازل أمراً ممكناً؛ فبدلاً من سحب كابل مستقل من المقسم لكل منزل على حدة، أتاح استخدام **المقسمات الضوئية (Splitters)** تغذية ما يصل إلى 64 مشتركاً عبر شعيرة زجاجية واحدة، مما وفر ملايين الدولارات في البنية التحتية لشركات الاتصالات.

Fiber Testing & Maintenance Technician

الوحدة الثالثة

أدوات التجهيز واللحام والربط (Splicing & Termination)

مقدمة

بما أن قطر شعيرة الألياف الضوئية أحادية النمط ($Core$) لا يتعدى 9 mu (ميكرومتر)، فإن أي خطأ ميليمتر أو جزيء غبار صغير قد يتسبب في حجب الضوء تماماً وفشل خط الاتصال. لذلك، تعتمد عملية وصل الألياف الضوئية على أدوات متناهية الدقة وتقنيات حرارية متطورة لضمان استمرارية مسار الضوء بنسبة فقد (Loss) تكاد تكون معدومة.

1. أدوات تجهيز كابل الألياف الضوئية (Preparation Tools)

قبل البدء باللحام، يجب إزالة الطبقات الخارجية لحماية الكابل وصولاً إلى الزجاج النظيف عبر الخطوات والأدوات التالية:

- **قاشطة الغلاف الخارجي**Fiber Optic Jacket Stripper

(كابلات Drop الخارجية): تُستخدم لإزالة الغلاف البلاستيكي السميك أو السلك الفولاذي الداعم للكابل دون إلحاق الضرر بالأنابيب الداخلية.

- **قاشطة الشعيرة الثلاثية (Three-Hole Fiber Stripper):** أداة دقيقة تحتوي على ثلاث فتحات متدرجة:

١ الفتحة الكبيرة: لإزالة الغلاف الخارجي السميك (2 mm).
٢ الفتحة المتوسطة: لإزالة الطلاء الواقي الكثيف (900 mu).
٣ الفتحة الصغيرة جداً: لإزالة الطلاء البلاستيكي المباشر (250 mu m) للوصول إلى الغلاف الزجاجي (Cladding 125 mu) دون خدشه.

- **سائل التنظيف (Isopropyl Alcohol 99%):** يُشترط استخدام كحول طبي نقي جداً بنسبة تبخر عالية مع مناديل خاصة خالية من الوبر (Lint-Free Wipes). تُمسح الشعيرة الزجاجية جيداً لإزالة أي بقايا للطلاء أو الأتربة، ويُعرف نجاح التنظيف بسماع صوت "زقزقة" ناتج عن احتكاك المنديل بالزجاج النظيف.

2. أداة القطع الاحترافية (The Cleaver)

تعتبر **أداة القطع (Cleaver)** أهم أداة يدوية في حقيبة الفني. لا تقوم هذه الأداة بـ "قص" الزجاج مثل المقص التقليدي، بل تقوم بعمل خدش ميكروبي دقيق جداً على سطح الشعيرة الزجاجية ثم تضغط عليها بلطف ليحدث كسر مستوٍ تماماً تلقائياً.

- **زاوية القطع (Cleave Angle):** يجب أن تكون زاوية الكسر عمودية تماماً وبدرجة 90 (يُسمح بنسبة خطأ أقل من 0.5 إلى 1 درجة كحد أقصى). إذا كانت زاوية القطع مائلة، سيرتد الضوء عند منطقة الوصل ولن تنجح عملية اللحام.

3. لحام الألياف الضوئية بالصهر (Fusion Splicing)

يعتبر اللحام بالصهر الطريقة الاحترافية والأكثر ديمومة لربط كابلات الألياف الضوئية، وتتم عبر **ماكينة اللحام بالقوس الكهربائي (Fusion Splicer)**.

مراحل عملية اللحام داخل الماكينة:

١. **المحاذاة (Alignment):** يتم وضع الشعيرتين المقصوصتين بدقة داخل الماكينة على مجاري حرف **V** (تُسمى V-Groove). تقوم الكاميرات والمحركات الدقيقة داخل الماكينة بمحاذاة اللب (Core) للشعيرتين لتصبحا على خط مستقيم واحد في فضاء ثلاثي الأبعاد.
٢. **التنظيف الذاتي (Prefuse):** تطلق الماكينة شرارة كهربائية صغيرة جداً وخاطفة لحرق أي غبار متبقٍ على الأطراف قبل اللحام.
٣. **الصهر والدمج (Fusion):** تطلق الأقطاب الكهربائية قوساً كهربائياً حرارياً صغيراً يقوم بصهر زجاج الطرفين ودمجهما معاً ليصبحا شعيرة واحدة مستمرة.
٤. **حساب الفقد تلقائياً:** تقوم الكاميرات بفحص منطقة الاندماج وعرض نسبة الفقد المتوقعة على الشاشة بالـ ديسيبل (dB)، ويجب أن تكون القيمة المثالية بين 0.01 dB و 0.03 dB.

حماية نقطة اللحام (Sleeve Protection):

الزجاج عند نقطة اللحام يصبح عارياً وهشاً جداً وقابلاً للكسر بأقل حركة. لذلك، قبل إدخال الألياف في الماكينة، يتم تمرير أنبوب حماية حراري (**Splice Protection Sleeve**) يحتوي على قضيب فولاذي صغير. بعد انتهاء اللحام،

يُسحب الأنبوب ليتمركز فوق نقطة اللحام، ثم يُدخل في فرن حراري ملحق بالماكينة ليتقلص البلاستيك حول الزجاج ويحميه ميكانيكياً.

4. الربط الميكانيكي والموصلات (Mechanical Splicing & Connectors)

في بعض الأحيان، وتحديداً داخل منازل المشتركين (شبكات FTTH)، لا يتوفر الوقت أو المساحة لاستخدام ماكينة اللحام الكبيرة، فيتم اللجوء إلى **الربط الميكانيكي** أو تركيب **الموصلات السريعة (Fast Connectors)**.

- **آلية العمل:** يتم إدخال الزجاج المقصوص والنظيف داخل موصل يحتوي مسبقاً على قطعة زجاجية صغيرة ومادة جل خاصة مطابقة لمعامل انكسار الزجاج (**Index Matching Gel**)، ويتم قفل الموصل ميكانيكياً لحبس الألياف وتأمين التلامس.
- **الأنواع الشهيرة للموصلات (Connectors):**
  - **SC (Subscriber Connector):** الموصل الأزرق أو الأخضر المربع الشائع جداً في بيوتنا، يعتمد على آلية الدفع والسحب (Push-Pull).
  - **LC (Lucent Connector):** موصل صغير الحجم يُستخدم بكثرة في كروت السيرفرات ومراكز البيانات لتوفير المساحة.
  - **FC (Ferrule Connector):** موصل معدني دائري يتم ربطه بالبرغي، ويستخدم في البيئات ذات الاهتزازات العالية.

خلاصة واستنتاج الوحدة الثالثة

تتطلب الوحدة الثالثة تركيزاً عالياً وهدوءاً أثناء العمل؛ فنظافة البيئة المحيطة بالفني، ودقة استخدام قاشطة الألياف، ونظافة شفرة الـ Cleaver هي العوامل الأساسية التي تحدد جودة الإشارة الضوئية في النهاية وتمنع حدوث انعكاسات مرتدة قد تضر بأجهزة الإرسال (OLT) في المقسم الرئيسي.

Fiber Testing & Maintenance Technician

الوحدة الرابعة

الفحص، القياس، واكتشاف الأعطال

مقدمة

بعد الانتهاء من تمديد كابلات الألياف الضوئية ولحامها، لا يمكن تشغيل الخدمة للمشتركين دون التأكد من أن الإشارة الضوئية تصل بالقدرة المطلوبة ولم تضعف في الطريق. ونظراً لأن الضوء المستخدم في الاتصالات هو ضوء غير مرئي بالعين المجردة (أشعة تحت حمراء بطول موجي 1310 nm أو 1550 nm)، فقد ابتكرت هندسة الاتصالات أجهزة قياس متطورة لتقييم أداء الشبكة وتحديد أماكن الأعطال بدقة تصل إلى مستوى السنتيمتر.

1. أدوات الفحص البصري الأولي (Visual Inspection)

قبل استخدام الأجهزة الرقمية المعقدة، يبدأ الفني بالفحص البصري للتأكد من السلامة الهيكلية ونظافة التوصيلات:

أ. قلم الفحص الضوئي (Visual Fault Locator - VFL)

- **آلية العمل:** هو جهاز صغير يطلق ليزراً مرئياً بالعين المجردة (غالباً باللون الأحمر بطول موجي 650\ nm).
- **الاستخدام الميداني:** * يتم توصيله بأحد أطراف الليف الضوئي؛ فإذا كان

الكابل سليماً، يخرج الضوء من الطرف الآخر.
    - في حال وجود قطع قريب، أو انحناء حاد جداً في الكابل (**Macro-bend**)، يتسرب الضوء الأحمر عبر الغلاف البلاستيكي، فيتوهج مكان العطل بوضوح للفني.
- **الحدود:** لا تتجاوز مسافة فصحه بضعة كيلومترات (عادة من 5 إلى 10 كم) ولا يحدد المسافة بدقة برقم رقمي.

ب. مجهر فحص الموصلات (Fiber Inspection Scope)

- **الأهمية:** أكثر من 85% من أعطال شبكات الألياف الضوئية تنتج عن تلوث رؤوس الموصلات (Connectors).
- **الاستخدام:** يُستخدم مجهر رقمي لتكبير رأس الموصل الزجاجي بمقدار 200x أو 400x لرؤية الأتربة، أو الزيوت الناتجة عن لمس الأصابع، أو الخدوش، والتي تتسبب في تشتيت الضوء وهبوط الإشارة فوراً.

2. مقياس القدرة الضوئية وحساب ميزانية الفقد (OPM & Loss Budget)

أ. مقياس القدرة الضوئية (Optical Power Meter - OPM)

يتكون هذا الفحص من جهازين يعملان معاً: **مستقبل القدرة (OPM)** و**مطلق الإشارة (Optical Light Source - OLS)**.

- يتم إطلاق ضوء بقيمة معلومة وثابتة من بداية الكابل، ويقيس جهاز الـ OPM القيمة الواصلة عند نهاية الكابل بوحدة الـ **ديسيبل ميلي واط (dBm)** أو الـ **ديسيبل (dB)**.

ب. حساب ميزانية الفقد (Link Loss Budget)

لكي يحكم الفني على الخط بأنه مقبول (Passed) أو مرفوض (Failed)، يجب أن يجمع قيم الفقد الطبيعية الناتجة عن المكونات الفيزيائية للشبكة ومقارنتها بالقراءة الحقيقية:

- **فقد الزجاج الطبيعي:** حوالي 0.35 dB لكل كيلومتر عند طول موجي 1310 nm.
- **فقد نقطة اللحام (Splice):** حوالي 0.05 dB إلى 0.1$ dB كحد أقصى لكل لحام.
- **فقد الموصلات الميكانيكية (Connectors):** حوالي 0.5 dB لكل زوج موصلات.
- **فقد المقسمات (Splitters):** يفقد المقسم 1:8 حوالي 10 dB، والمقسم 1:32 حوالي 17 dB.

المعادلة: الفقد الكلي المسموح به = (طول الكابل × الفقد لكل كم) + (عدد اللحامات × فقد اللحام) + (عدد الموصلات × فقد الموصل) + فقد المقسمات.

3. جهاز الـ OTDR العملاق (Optical Time Domain Reflectometer)

يعتبر جهاز الـ **OTDR** هو الجهاز الأهم والأقوى في ترسانة مهندس الاتصالات، حيث يغني عن الحاجة للتواجد عند طرفي الكابل؛ إذ يمكنه فحص الكابل كاملاً من طرف واحد فقط وتوليد خريطة بيانية متكاملة له.

أ. آلية العمل

يعمل الـ OTDR بنفس مبدأ الرادار؛ حيث يطلق نبضة ضوئية عالية القدرة داخل الليف الضوئي، ثم يقوم باستقبال وتحليل "الارتداد الخلفي للضوء" (**Backscattering**) والانعكاسات الناتجة عن اللحامات أو الانحناءات أو القطوع، ويقيس الزمن الذي استغرقته النبضة للذهاب والعودة لحساب المسافة بدقة بناءً على سرعة الضوء.

ب. قراءة منحنى الـ (Trace Analysis) OTDR

يظهر على شاشة الجهاز منحنى بياني يعبر عن طول الكابل (المحور الأفقي بالأمتار/الكيلومترات) وقوة الإشارة (المحور العمودي بالـ dB). ويتم تفسير الأشكال الحيوية على المنحنى كالتالي:

١. **الهبوط المفاجئ المستمر (Gain/Loss Step):** يدل على وجود نقطة لحام (Splice).
٢. **القمة الحادة (Reflective Peak):** تدل على وجود موصل ميكانيكي (Connector) أو نهاية الكابل، حيث يحدث انعكاس قوي للضوء عند الانتقال من الزجاج إلى الهواء.
٣. **الانهيار التام للمنحنى إلى مستوى الصفر (Noise Floor):** يدل على نقطة قطع كامل في الكابل (**Fiber Break**)، ويظهر الجهاز المسافة بالمتر بدقة (مثال: القطع على بُعد 4325 متراً من موقع الفحص)، مما يسهل على فرق الصيانة التوجه للموقع الدقيق وإصلاحه.

4. منهجية اكتشاف الأعطال وإصلاحها (Troubleshooting Strategy)

عند حدوث انقطاع في الخدمة، يتبع الفني التسلسل المنهجي التالي:

١. **فحص جهاز المشترك (ONT):** التأكد من عدم وجود ضوء أحمر (LOS - Loss of Signal) ناتج عن التواء كابل الـ Drop الداخلي للمنزل.
٢. **القياس بالـ OPM:** قياس مستوى الإشارة عند بوكس التوزيع في الشارع للتأكد من أن المشكلة ليست من المقسم الرئيسي ($Splitter$).
٣. **تشغيل الـ OTDR:** في حال غياب الإشارة تماماً عن الحي أو الشارع، يتم الفحص من المقسم الرئيسي لمعرفة مكان انقطاع الكابل الرئيسي في الشوارع (بسبب الحفريات أو العوامل الجوية) وإرسال فريق الصيانة الميدانية لإعادة لحامه.

خلاصة واستنتاج الوحدة الرابعة

إن احتراف أدوات القياس وخاصة جهاز الـ **OTDR** وقراءة منحنياته البيانية هو ما يفرق بين الفني المبتدئ والخبير المحترف؛ حيث يوفر هذا الفهم ساعات طويلة من البحث الميداني غير الموجه، ويضمن استعادة خدمات الاتصالات الحيوية للشركات والمنازل بأسرع وقت ممكن وبأقل تكلفة.

Fiber Testing & Maintenance Technician

الوحدة الخامسة

السلامة المهنية وصيانة الشبكات

مقدمة

العمل في قطاع الألياف الضوئية ليس مجرد تعامل مع تكنولوجيا متطورة، بل هو عمل ميداني يتضمن التعامل مع زجاج دقيق جداً، وأشعة ليزر غير مرئية، ومواد كيميائية، وظروف ميدانية متقلبة (مثل الحفريات والعمل على المرتفعات). لذلك، فإن الالتزام بقواعد السلامة المهنية ومعرفة آليات الصيانة الطارئة يمثلان الفارق بين بيئة عمل آمنة وناجحة، وبين وقوع إصابات خطيرة أو خسائر مادية فادحة للشركات.

1. مخاطر وقواعد السلامة المهنية (Occupational Safety)

ينقسم التعامل مع المخاطر في بيئة عمل الألياف الضوئية إلى ثلاثة محاور أساسية:

أ. مخاطر أشعة الليزر (Laser Safety)

- **المشكلة:** الضوء المستخدم في شبكات الاتصالات (الأشعة تحت الحمراء) غير مرئي بالعين المجردة، لكنه يحمل طاقة مركزة وعالية جداً.

- **الخطر:** إذا نظر الفني مباشرة إلى داخل ليف ضوئي متصل بجهاز إرسال (OLT)، فإن أشعة الليزر ستتركز على شبكية العين وتسبب حروقاً وعمى دائم دون أن يشعر الفني بأي ألم فوري (لأن الشبكية لا تحتوي على مستقبلات ألم للحرارة).
- **قاعدة السلامة:لا تنظر أبداً إلى نهاية أي كابل ضوئي** ما لم تتأكد تماماً عبر جهاز الـ OPM أنه غير متصل بمصدر ضوء، ويجب ارتداء نظارات الحماية الخاصة بالليزر عند التعامل مع الأجهزة الحية.

ب. مخاطر شظايا الزجاج (Fiber Shards)

- **المشكلة:** عند استخدام أداة القطع (Cleaver)، ينتج جزء صغير جداً ومجهري من الزجاج العاري المقصوص.
- **الخطر:** هذه الشظايا الزجاجية دقيقة وحادة للغاية؛ إذا لمست الجلد يمكن أن تخترقه بسهولة، والأخطر من ذلك إذا التصقت بالطعام ودخلت الجهاز الهضمي أو مجرى الدم، حيث يصعب على الأشعة السينية (X-Ray) اكتشافها داخل الجسم.
- **قاعدة السلامة:**
- يجب استخدام ملاقط خاصة (Tweezers) لالتقاط البقايا.
  - التخلص من الشظايا فوراً داخل حاويات صلبة ومغلقة مخصصة لذلك (Fiber Scrap Trash Can).
  - منع الأكل والشرب تماماً في منطقة اللحام.

ج. مخاطر المواد الكيميائية والبيئة الميدانية

- **الكحول الطبي (Isopropyl Alcohol 99%):** سائل سريع الاشتعال وتبخره كثيف، لذا يجب العمل في مكان جيد التهوية وبعيداً عن شرارات ماكينة اللحام.
- **الأماكن المغلقة (Confined Spaces):** عند النزول إلى الغرف الأرضية لكابلات الاتصالات (Manholes)، يجب فحص الغازات السامة (مثل الميثان) وتهوية الغرفة جيداً قبل النزول.

2. إجراءات الصيانة الوقائية (Preventive Maintenance)

الهدف من الصيانة الوقائية هو فحص الشبكة بشكل دوري لمنع حدوث الأعطال قبل وقوعها، وتشمل:

- **تنظيف كبائن التوزيع الرئيسية (ODF STREET CABINETS):** إزالة الأتربة والغبار التي قد تتسلل إلى الموصلات بفعل الرياح وتسبب هبوطاً تدريجياً في الإشارة.
- **مراقبة مستوى الإشارة التراكمي:** قراءة مستويات الطاقة الضوئية بشكل دوري ومقارنتها بالقراءات الأصلية يوم التركيب لتحديد أي تدهور (Degradation) في الكابلات قبل تسببها في انقطاع الخدمة.
- **إعادة تنظيم الكابلات داخل الصناديق:** التأكد من أن الألياف داخل صناديق اللحام (Splice Closures) مرتاحة ولا تخضع لأي شد ميكانيكي أو انحناء حاد يتجاوز نصف قطر الانحناء المسموح به **(Bending Radius)**.

3. الصيانة التصحيحية وإصلاح القطوع الطارئة (Corrective & Emergency Maintenance)

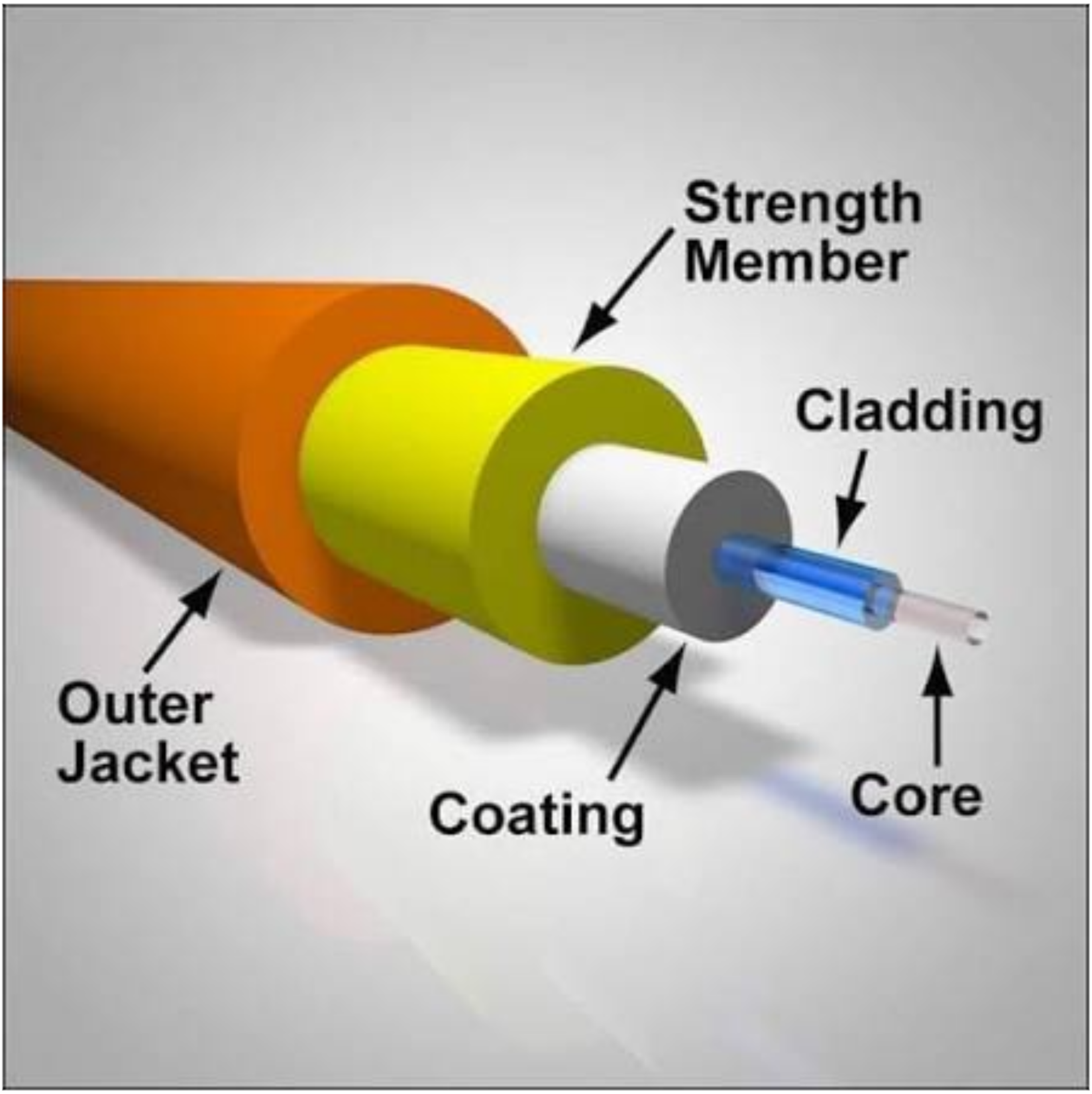
عند حدوث قطع مفاجئ لكابل رئيسي في الشارع (بسبب أعمال حفر أو حادث ميكانيكي)، يتم تفعيل خطة "الإصلاح الطارئ لخدمة الاتصالات" وتتم وفق الخطوات التالية:

١. **تحديد موقع القطع:** باستخدام جهاز الـ OTDR (كما تم شرحه في الوحدة الرابعة)، يتم معرفة المسافة الدقيقة للقطع من أقرب مقسم أو كابينة.
٢. **عزل منطقة العمل ميكانيكياً:** توجه فريق الصيانة للموقع، وتأمين المكان بعلامات السلامة المرورية.
٣. **تحضير كابل بديل (Jumper Patch Cable):** إذا كان الكابل متضرراً لمسافة أمتار، يتم قص الجزء التالف وسحب كابل جديد بديل بنفس المواصفات وعدد الشعيرات (Core Count).
٤. **اللحام الميداني السريع:** يتم تجهيز صندوق لحام طارئ (Closure)، ويبدأ الفنيون بلحام الألياف شعيرة تلو الأخرى باستخدام ماكينة اللحام بالصهر، مع إعطاء الأولوية للخطوط الحيوية (مثل خطوط المستشفيات، البنوك، والشركات الكبرى).
٥. **إعادة الفحص والتوثيق:** بعد التلحيم، يتم فحص الإشارة مجدداً بالـ OTDR للتأكد من زوال العطل وعودة المنحنى البياني لوضعه الطبيعي ونسبة فقد مقبولة.

خلاصة واستنتاج الدورة كاملة

تعتبر **الوحدة الخامسة** هي الغلاف العملي والتطبيقي الذي يحمي كل ما تم تعلمه في الوحدات السابقة. إن الالتزام بالسلامة المهنية يحمي الفني من المخاطر الصحية، بينما تضمن مهارات الصيانة السريعة والمنظمة بقاء شبكة الاتصالات الضوئية تعمل بكفاءة 99.99\%، وهو المعيار العالمي الذي تتنافس عليه كبرى شركات الاتصالات اليوم لتوفير إنترنت فائق السرعة ومستقر بدون انقطاع.

الأدوات و أدوات الفحص و القياس


Strength
Member
Cladding
Outer
Jacket
Coating
Core

退出/XY
复位
菜单
开始
加热
USB Interface
Input:
确认
返回
09:22

OPTICAL POWER METER
1310 nm
-08.19 dBm
151.5 uW
1 2 3 4 5 6 7 8
REF
SAVE
λ
dB/RJ45
VFL/LED
PRESS

رابط فيديو تركيب كابل الألياف الضوئية

https://youtu.be/vhoD0vBzEeA

// By:Haytham Zeidan

https://archive.org/details/@wazefapress